

## Экологические аспекты переработки радиоактивных отходов на Запорожской АЭС

Представлены результаты прогнозных оценок воздействия радиоактивных газо-аerosольных выбросов Комплекса по переработке радиоактивных отходов Запорожской АЭС на окружающую среду. Переработка радиоактивных отходов средней и низкой активности будет осуществляться с помощью установок фрагментации, сжигания и прессования радиоактивных отходов. Прогнозные оценки, проведенные для штатного режима эксплуатации, проектных и запроектных аварийных ситуаций, показали, что существенного неблагоприятного воздействия Комплекса на окружающую среду даже при запроектных авариях не ожидается.

Ключевые слова: атомная электростанция, радиоактивные отходы, окружающая среда, население, эффективные дозы.

**В. В. Тришин, О. В. Гайдар, О. В. Сваричевська**

### Екологічні аспекти переробки радіоактивних відходів на Запорізькій АЕС

Наведено результати прогнозних оцінок впливу радіоактивних газо-аerosольних викидів Комплексу з переробки радіоактивних відходів Запорізької АЕС на довкілля. Переробка радіоактивних відходів середньої та низької активності здійснюватиметься за допомогою установок фрагментації, спалювання й пресування радіоактивних відходів. Прогнозні оцінки, проведені для штатного режиму експлуатації, проектних та запроектних аварійних ситуацій, показали, що суттєвого шкідливого впливу Комплексу на навколишнє середовище навіть у разі запроектних аварій не очікується.

Ключові слова: атомна электростанція, радіоактивні відходи, навколишнє середовище, населення, ефективні дози.

Целью создания Комплекса по переработке радиоактивных отходов Запорожской АЭС (ЗАЭС) является реализация государственной политики в сфере обращения с радиоактивными отходами (РАО), направленной на защиту окружающей среды, жизни и здоровья населения от воздействия ионизирующего излучения, улучшение условий эксплуатации ЗАЭС и замену устаревшего оборудования новым.

В настоящий период на ЗАЭС эксплуатируются три хранилища твердых радиоактивных отходов (ХТРО): ХТРО спецкорпуса № 1, ХТРО спецкорпуса № 2 и ХТРО здания переработки (блок хранения). Для переработки РАО используются установки сжигания радиоактивных отходов UZ (производства Свердловского химмаша, Россия), прессования твердых радиоактивных отходов ВНР-500 (Венгрия), регенерации масла главного циркуляционного насоса и глубокого упаривания УГУ-1-500.

Анализ динамики накопления твердых радиоактивных отходов (ТРО) в хранилищах ЗАЭС показывает, что для обеспечения системы обращения с РАО необходимо введение новых технологических мощностей.

Новый Комплекс по переработке РАО (КП РАО) будет размещен в помещении 3-122 существующего здания ХТРО и в новом здании КП РАО, примыкающем к ХТРО.

В помещении 3-122 существующего здания ХТРО будет находиться установка фрагментации, предназначенная для уменьшения размеров ТРО низкой и средней активности и затаривания их в бочки-контейнеры первичной упаковки для подачи на установки сжигания и прессования.

Новое здание КП РАО будет оснащено установками сжигания и прессования, предназначенными для уменьшения объемов РАО, а также системой радиационного и химического мониторинга выбросов для контроля за содержанием радиоактивных и химических вредных веществ в удаляемом воздухе.

Технологический процесс переработки РАО на КП РАО предусматривает использование импортного оборудования, поставляемого в рамках проекта TACIS U1.03./04A, а именно:

установки сжигания для переработки горючих твердых (ТРО) и жидких (ЖРО) радиоактивных отходов производительностью 30 кг/ч (подрядчик — консорциум во главе с фирмой Iberdrola, Испания);

установки суперкомпактора для переработки ТРО путем прессования под высоким давлением (подрядчик — фирма Nukem, Германия);

установки фрагментации для измельчения крупногабаритных, длинномерных элементов оборудования и других частей с возможностью их дальнейшей дезактивации или утилизации (подрядчик — фирма VUJE, Словакия);

системы радиационного и химического мониторинга выбросов (СМ) для контроля за содержанием радиоактивных и химически вредных веществ в удаляемом воздухе из здания КП РАО (подрядчик — фирма Elvinet, Чехия).

На КП РАО планируется перерабатывать как уже имеющиеся в хранилищах ЗАЭС, так и вновь образующиеся ТРО и ЖРО 3-й группы, категорий низко- и среднеактивные (по классификации ОСПУ [1]).

При эксплуатации КП РАО наиболее существенными потенциально опасными воздействиями на окружающую среду, персонал и население будут следующие радиационные источники: 1) ТРО и ЖРО, перерабатываемые на установках; 2) вторичные РАО, образующиеся в технологическом процессе переработки РАО; 3) радиоактивно загрязненные сточные воды, образующиеся в технологическом процессе переработки РАО, и радиоактивные газо-аerosольные

выбросы. Источник нерадиационного воздействия — выбросы химических веществ с установки сжигания.

В штатном режиме эксплуатации КП РАО защита от негативного воздействия радиационных и нерадиационных факторов будет обеспечиваться системой стационарных и динамических защитных барьеров.

Система стационарных защитных барьеров включает защитные бетонные стены, защитные двери в технологических помещениях, защитные контейнеры, защитные экраны и защитные элементы технологического оборудования.

Динамическая система защиты включает системы спецвентиляции и спецканализации, которые обеспечивают соответствие требованиям нормативных документов относительно условий труда в технологических помещениях и содержания химических и радиоактивных веществ в выбросах в окружающую среду.

В настоящей работе представлены результаты оценки влияния эксплуатации КП РАО на окружающую среду, проведенные как для штатного режима эксплуатации, так и для возможных аварийных ситуаций.

#### Прогнозная оценка радиационного воздействия на окружающую среду и население при эксплуатации КП РАО в штатном режиме

**Прогнозные оценки влияния газо-аэрозольных выбросов КП РАО на окружающую среду.** Расчетные значения годового выброса установок КП РАО (табл. 1) получены на основании данных о скорости выброса радионуклидов в окружающую среду при работе всех установок КП РАО с учетом консервативного подхода к выбору начальных условий и режимов эксплуатации оборудования. Из сравнения приведенных данных видно, что годовой выброс от установок КП РАО, по крайней мере, в несколько раз меньше суммарного годового выброса объектов на площадке ЗАЭС и даже при непрерывной работе установок КП РАО не превышает соответствующих контрольных уровней месячных выбросов, установленных для радионуклидов.

Расчитанные величины газо-аэрозольного выброса использованы в качестве исходных параметров для получения прогнозных оценок влияния КП РАО на окружающую среду в соответствии с радиационно-гигиеническим регламентом [2], а также другими широко распространенными и признанными рекомендациями [3, 4]. При проведении этих оценок зона наблюдения радиусом 30 км разбивалась на 112 секторов (16 — по азимутальным направлениям, 7 — по радиусам 2,5; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0; 30,0 км).

В качестве исходных данных о повторяемости категорий стабильности, скоростях ветра и осадков использовались данные аттестованной метеостанции, расположенной на территории промплощадки ЗАЭС.

Полученные прогнозные оценки воздействия КП РАО на воздушную среду проиллюстрированы пространственными распределениями объемной активности (рис. 1, а) и плотностью выпадений (рис. 1, б) радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  на территории зоны наблюдения ЗАЭС, для сравнения приведены соответствующие результаты мониторинга за 2006—2010 гг. Как видим, прогнозируемые величины выброса радиоактивных веществ, которые образуются при работе установки сжигания, а также

Таблица 1. Характеристики выброса радионуклидов в окружающую среду от установок КП РАО

Радионуклид	Скорость выброса в окружающую среду от установок КП РАО, Бк/с	Суммарный годовой выброс установок КП РАО, Бк	Суммарный годовой выброс объектов ЗАЭС, Бк	Контрольный уровень выбросов ЗАЭС, Бк/мес
$^{95}\text{Zr}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$	$5,11 \cdot 10^4$	—	$7,2 \cdot 10^6$
$^{95}\text{Nb}$	$4,59 \cdot 10^{-3}$	$1,07 \cdot 10^5$	—	$1,3 \cdot 10^7$
$^{124}\text{Sb}$	$4,03 \cdot 10^{-4}$	$9,43 \cdot 10^3$	—	—
$^{65}\text{Zn}$	$3,10 \cdot 10^{-3}$	$7,25 \cdot 10^4$	—	—
$^{51}\text{Cr}$	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$2,69 \cdot 10^4$	$2,37 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$
$^{59}\text{Fe}$	$1,75 \cdot 10^{-4}$	$4,10 \cdot 10^3$	—	$4,1 \cdot 10^6$
$^{58}\text{Co}$	$3,08 \cdot 10^{-3}$	$7,22 \cdot 10^4$	$3,64 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^7$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$1,38 \cdot 10^{-3}$	$3,22 \cdot 10^4$	—	$3,5 \cdot 10^6$
$^{144}\text{Ce}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$2,93 \cdot 10^4$	—	—
$^{54}\text{Mn}$	$4,76 \cdot 10^{-2}$	$1,10 \cdot 10^6$	$3,06 \cdot 10^6$	$8,3 \cdot 10^6$
$^{60}\text{Co}$	$1,66 \cdot 10^{-1}$	$3,81 \cdot 10^6$	$9,01 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^7$
$^{134}\text{Cs}$	$3,36 \cdot 10^{-2}$	$7,56 \cdot 10^5$	$1,56 \cdot 10^7$	$3,1 \cdot 10^6$
$^{137}\text{Cs}$	$4,96 \cdot 10^{-2}$	$1,12 \cdot 10^6$	$2,08 \cdot 10^7$	$8,1 \cdot 10^6$

при технологических сдвухах от установок КП РАО и технологического оборудования общего назначения, будут значительно ниже установленных НРБУ-97 значений допустимой концентрации в воздухе для населения  $\text{ДК}_B^{\text{inhal}}$  [5] и более чем в 10 раз меньше контрольных уровней, установленных для ЗАЭС.

Прогнозируемые максимальные выбросы нерадиоактивных химических загрязняющих веществ при работе установки сжигания не превысят,  $\text{мг}/\text{м}^3$ : для оксида углерода — 25  $\text{мг}/\text{м}^3$ , оксидов азота — 133,  $\text{HCl}$  — 0,36,  $\text{SO}_2$  — 17. Эти значения намного ниже установленных Государственными санитарными правилами охраны атмосферного воздуха населенных мест (от загрязнения химическими и биологическими веществами) предельно допустимых концентраций (ПДК) в воздухе и составляют 0,10 ПДК для оксида углерода, 0,3 ПДК — для оксидов азота, 0,01 ПДК — для  $\text{HCl}$ , 0,04 ПДК — для  $\text{SO}_2$ , а их объемные концентрации в приземном слое на границе санитарно-защитной зоны будут существенно меньше установленных ПДК для населенных пунктов.

Таким образом, в штатном режиме эксплуатации КП РАО при условии соблюдения всех регламентных требований его влияние на окружающую воздушную среду незначительно и не превышает существующих уровней фонового загрязнения.

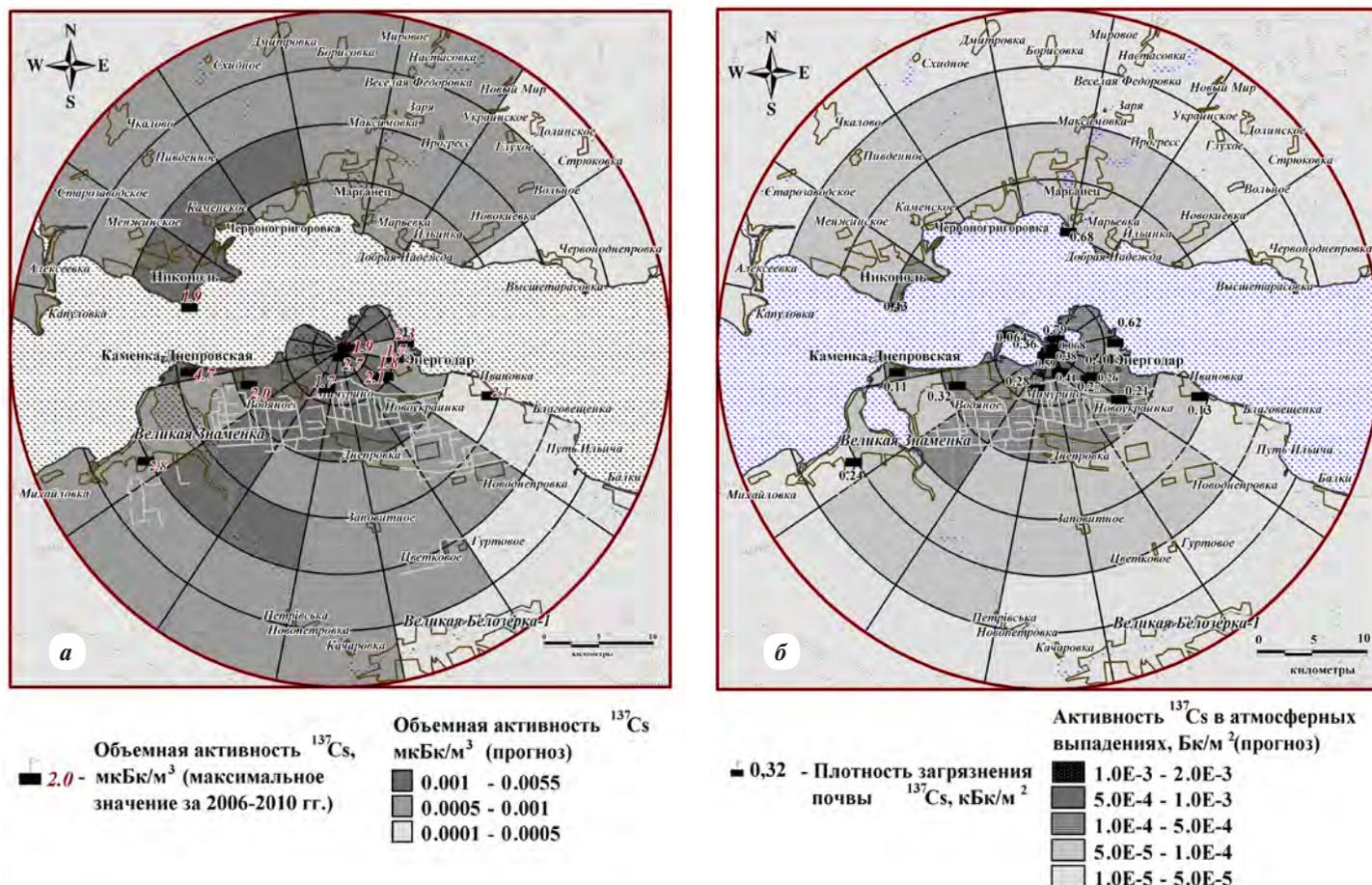


Рис. 1. Пространственное распределение расчетных значений объемной активности в приземном слое атмосферы (а) и атмосферных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  (б) на территории зоны наблюдения ЗАЭС, обусловленных газо-аэрозольными выбросами при штатном режиме эксплуатации КП РАО

**Оценка влияния газо-аэрозольных выбросов КП РАО на население.** В санитарно-защитной зоне ЗАЭС населенных пунктов нет. Ближайшее оздоровительное учреждение — профилакторий Запорожской ТЭС — находится в 5 км к северо-востоку от АЭС, на берегу Каховского водохранилища.

Зона наблюдения Запорожской АЭС включает в себя территорию г. Энергодара, Каменско-Днепропетровского, Великобелозерского, Васильевского, Запорожского районов Запорожской обл., г. Никополь, г. Марганца, Никопольского, Томаковского районов Днепропетровской обл., с. Бережанка, с. Михайловка Верхнерогачикского района Херсонской обл.

Для расчета индивидуальных и коллективных эффективных доз облучения населения учитывались все пути формирования дозы за счет газо-аэрозольных выбросов КП РАО в течение года. Данные о численности населения в зоне наблюдения ЗАЭС были развиты на соответствующие секторы с использованием современных методов геоинформационного анализа.

Полученные результаты показывают, что максимальное значение индивидуальной эффективной дозы на 5 порядков меньше установленной НРБУ-97 [5] квоты лимита дозы (40 мкЗв/год), что гарантирует непревышение указанного лимита с учетом других источников выбросов на промплощадке ЗАЭС.

Рассчитанные значения индивидуальных рисков для населения, проживающего в зоне наблюдения, при штатном режиме эксплуатации КП РАО не превышают границы пренебрежимого риска [6].

**Прогнозная оценка радиационного воздействия на окружающую среду при возможных аварийных ситуациях на КП РАО**

При анализе потенциально возможных аварийных ситуаций использовались консервативные данные и допущения, чтобы получить верхнюю границу возможного негативного влияния на окружающую среду. Данный подход дает основание считать, что оцененные дозы облучения населения будут выше, чем в реальной обстановке, с большей степенью вероятности.

Внутренние постулированные исходные события определялись на основе конкретных данных об эксплуатационных характеристиках установок и используемых технологиях, а внешние постулированные исходные события — с учетом условий региона размещения Комплекса по переработке радиоактивных отходов.

Анализируются следующие аварийные ситуации, возможные при эксплуатации КП РАО:  
протечка в системе спецканализации;

Таблица 2. Активности радионуклидов при проектной аварии «Падение 170-литровой бочки с золой в помещении 133»

Радионуклид	Активность в 170-литровой бочке с золой, Бк	Активность выброса в окружающую среду, Бк
$^{95}\text{Zr}$	$1,17 \cdot 10^7$	$7,01 \cdot 10^3$
$^{95}\text{Nb}$	$2,46 \cdot 10^7$	$1,48 \cdot 10^4$
$^{124}\text{Sb}$	$2,17 \cdot 10^6$	$1,30 \cdot 10^3$
$^{65}\text{Zn}$	$4,30 \cdot 10^6$	$2,58 \cdot 10^3$
$^{51}\text{Cr}$	$6,17 \cdot 10^6$	$3,70 \cdot 10^3$
$^{59}\text{Fe}$	$9,38 \cdot 10^5$	$5,63 \cdot 10^2$
$^{58}\text{Co}$	$1,65 \cdot 10^7$	$9,91 \cdot 10^3$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$7,38 \cdot 10^6$	$4,43 \cdot 10^3$
$^{144}\text{Ce}$	$6,70 \cdot 10^6$	$4,02 \cdot 10^3$
$^{54}\text{Mn}$	$1,72 \cdot 10^8$	$1,03 \cdot 10^5$
$^{60}\text{Co}$	$4,99 \cdot 10^8$	$3,00 \cdot 10^5$
$^{134}\text{Cs}$	$3,04 \cdot 10^6$	$1,83 \cdot 10^3$
$^{137}\text{Cs}$	$8,42 \cdot 10^6$	$5,05 \cdot 10^3$

потеря основного источника электропитания; внутренние исходные события на установке прессования (взрыв, аварийные протечки жидкости, аварийный выброс радиоактивных газов, пожар на установке прессования, падения грузов, механические повреждения);

внутренние исходные события на установке сжигания (отказ вытяжного вентилятора системы газоудаления, попадание на вход установки непредусмотренных предметов и материалов, пожар в помещении насосной радиоактивного масла, пожар на установке сжигания);

исходные события, связанные с внешними природными воздействиями (экстремально высокие или низкие температуры, сильные осадки, смерчи, внешние пожары);

аварии на гидросооружениях и другие возможности затопления промплощадки ЗАЭС (разрушение плотины Киевской ГЭС или плотин Днепровской либо Запорожской ГЭС).

Из рассмотренных аварий наибольшим выходом радиоактивных веществ в окружающую среду сопровождаются проектная авария «Падение 170-литровой бочки с золой в помещении 133» и запроектная авария «Пожар на установке сжигания при отказе системы пожаротушения и аварийной спецвентиляции».

Для проведения прогнозных оценок воздействия указанных аварий на окружающую среду использовалась модель Гаусса [3, 4], которая, как правило, дает консервативные результаты при условии корректного выбора значений параметров моделирования. Принимались следующие консервативные

Таблица 3. Оценки влияния газо-аэрозольного выброса при проектной аварии «Падение 170-литровой бочки с золой в помещении 133»

Расстояние, км	Ингаляционная доза, Зв	Доза от облака, Зв	Доза от выпадений, Зв	Эффективная доза за счет всех путей формирования, Зв	Плотность выпадений, кБк/м <sup>2</sup>	МЭД, (Зв/ч)	Время прихода облака, ч:мин
0,15	$<10^{-15}$	$<10^{-15}$	$8,5 \cdot 10^{-8}$	$8,5 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-11}$	$<0:01$
0,25	$<10^{-15}$	$<10^{-15}$	$5,1 \cdot 10^{-8}$	$5,1 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-12}$	0:01
0,50	$<10^{-15}$	$<10^{-15}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-12}$	0:02
1,00	$<10^{-15}$	$<10^{-15}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$	0:04
1,25	$<10^{-15}$	$<10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$	0:05
1,50	$<10^{-15}$	$<10^{-15}$	$8,4 \cdot 10^{-9}$	$8,4 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-12}$	0:07
2,00	$<10^{-15}$	$<10^{-15}$	$6,3 \cdot 10^{-9}$	$6,3 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$8,1 \cdot 10^{-13}$	0:09
2,50	$9,0 \cdot 10^{-15}$	$<10^{-15}$	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-13}$	0:11
3,00	$3,8 \cdot 10^{-14}$	$4,9 \cdot 10^{-16}$	$4,1 \cdot 10^{-9}$	$4,1 \cdot 10^{-9}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-13}$	0:14
5,00	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$4,1 \cdot 10^{-15}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-13}$	0:23
7,50	$5,8 \cdot 10^{-13}$	$7,5 \cdot 10^{-15}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-13}$	0:35
10,0	$6,4 \cdot 10^{-13}$	$8,3 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-13}$	0:46
15,0	$5,4 \cdot 10^{-13}$	$7,0 \cdot 10^{-15}$	$5,8 \cdot 10^{-10}$	$5,8 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-14}$	1:10
20,0	$4,0 \cdot 10^{-13}$	$5,2 \cdot 10^{-15}$	$3,6 \cdot 10^{-10}$	$3,6 \cdot 10^{-10}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-14}$	1:33
25,0	$3,0 \cdot 10^{-13}$	$3,7 \cdot 10^{-15}$	$2,3 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-10}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-14}$	1:57
30,0	$2,1 \cdot 10^{-13}$	$2,7 \cdot 10^{-15}$	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-14}$	2:20
35,0	$1,5 \cdot 10^{-13}$	$1,9 \cdot 10^{-15}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-14}$	2:44
40,0	$1,0 \cdot 10^{-13}$	$1,3 \cdot 10^{-15}$	$7,3 \cdot 10^{-11}$	$7,3 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-15}$	3:07

Таблица 4. Активности радионуклидов в выбросе при запроектной аварии «Пожар на установке сжигания при отказе системы пожаротушения и аварийной спецвентиляции»

Радионуклид	Активность респираторной фракции зольного остатка, Бк	Активность в аварийном выбросе, Бк
<sup>95</sup> Zr	42,4	1,57·10 <sup>5</sup>
<sup>95</sup> Nb	89,4	3,30·10 <sup>5</sup>
<sup>124</sup> Sb	7,86	2,90·10 <sup>4</sup>
<sup>65</sup> Zn	15,6	2,24·10 <sup>5</sup>
<sup>51</sup> Cr	22,4	8,28·10 <sup>4</sup>
<sup>59</sup> Fe	3,40	1,26·10 <sup>4</sup>
<sup>58</sup> Co	59,9	2,22·10 <sup>5</sup>
<sup>110m</sup> Ag	26,8	9,90·10 <sup>4</sup>
<sup>144</sup> Ce	24,3	9,00·10 <sup>4</sup>
<sup>54</sup> Mn	624	2,32·10 <sup>6</sup>
<sup>60</sup> Co	1810	6,72·10 <sup>6</sup>
<sup>134</sup> Cs	11,0	1,57·10 <sup>5</sup>
<sup>137</sup> Cs	30,5	4,36·10 <sup>5</sup>

метеорологические условия распространения аварийного выброса: скорость ветра — 1 м/с, осадки — 1 мм/ч, категория устойчивости — F, эффективная высота выброса — 100 м (высота вентиляционной трубы СК-1 без учета динамического подъема за счет начальной скорости выброса).

При расчетах эффективных доз облучения населения вследствие данных аварий учитывались вклады за счет внешнего облучения от радиоактивного облака, выпадений на земную поверхность и ингаляционная компонента внутреннего облучения.

На основании данных об активности радионуклидов в выбросе в окружающую среду при проектной аварии «Падение 170-литровой бочки с золой в помещении 133» (табл. 2) оценены прогнозные величины эффективных доз облучения реципиента, который находится на оси аварийного выброса (табл. 3).

Аналогично, исходя из активностей радионуклидов в выбросе при запроектной аварии «Пожар на установке сжигания при отказе системы пожаротушения и аварийной спецвентиляции» (табл. 4) проведены прогнозные оценки эффективных доз облучения реципиента, который находится на оси аварийного выброса (табл. 5).

Как видно из представленных данных (табл. 3 и 5), плотности радиоактивных выпадений и индивидуальные эффективные дозы облучения отдельных лиц из населения практически находятся на уровне фоновых значений, в пределах допустимых квот лимитов доз при плановой эксплуатации ЗАЭС.

Таблица 5. Результаты прогнозных оценок влияния газо-аэрозольного выброса при запроектной аварии «Пожар на установке сжигания при отказе системы пожаротушения и аварийной спецвентиляции»

Расстояние, км	Ингаляционная доза, Зв	Доза от облака, Зв	Доза от выпадений, Зв	Эффективная доза за счет всех путей формирования, Зв	Плотность выпадений, кБк/м <sup>2</sup>	МЭД, Зв/ч	Время прихода облака, ч:мин
0,15	<10 <sup>-15</sup>	<10 <sup>-15</sup>	2,0·10 <sup>-6</sup>	2,0·10 <sup>-6</sup>	4,2·10 <sup>-2</sup>	2,5·10 <sup>-10</sup>	<0:01
0,25	<10 <sup>-15</sup>	<10 <sup>-15</sup>	1,2·10 <sup>-6</sup>	1,2·10 <sup>-6</sup>	2,4·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-10</sup>	0:01
0,50	<10 <sup>-15</sup>	<10 <sup>-15</sup>	5,8·10 <sup>-7</sup>	5,8·10 <sup>-7</sup>	1,2·10 <sup>-2</sup>	7,6·10 <sup>-11</sup>	0:02
0,75	<10 <sup>-15</sup>	<10 <sup>-15</sup>	3,9·10 <sup>-7</sup>	3,9·10 <sup>-7</sup>	8,1·10 <sup>-3</sup>	5,0·10 <sup>-11</sup>	0:03
1,00	<10 <sup>-15</sup>	<10 <sup>-15</sup>	2,9·10 <sup>-7</sup>	2,9·10 <sup>-7</sup>	6,1·10 <sup>-3</sup>	3,8·10 <sup>-11</sup>	0:04
1,25	<10 <sup>-15</sup>	<10 <sup>-15</sup>	2,3·10 <sup>-7</sup>	2,3·10 <sup>-7</sup>	4,8·10 <sup>-3</sup>	3,0·10 <sup>-11</sup>	0:05
1,50	<10 <sup>-15</sup>	<10 <sup>-15</sup>	1,9·10 <sup>-7</sup>	1,9·10 <sup>-7</sup>	4,0·10 <sup>-3</sup>	2,5·10 <sup>-11</sup>	0:07
2,00	1,6·10 <sup>-14</sup>	<10 <sup>-15</sup>	1,4·10 <sup>-7</sup>	1,4·10 <sup>-7</sup>	3,0·10 <sup>-3</sup>	1,9·10 <sup>-11</sup>	0:09
2,50	2,0·10 <sup>-13</sup>	2,7·10 <sup>-15</sup>	1,1·10 <sup>-7</sup>	1,1·10 <sup>-7</sup>	2,4·10 <sup>-3</sup>	1,5·10 <sup>-11</sup>	0:11
3,00	8,5·10 <sup>-13</sup>	1,1·10 <sup>-14</sup>	9,4·10 <sup>-8</sup>	9,4·10 <sup>-8</sup>	2,0·10 <sup>-3</sup>	1,2·10 <sup>-11</sup>	0:14
5,00	7,3·10 <sup>-12</sup>	9,5·10 <sup>-14</sup>	5,4·10 <sup>-8</sup>	5,4·10 <sup>-8</sup>	1,1·10 <sup>-3</sup>	7,0·10 <sup>-12</sup>	0:23
7,50	1,3·10 <sup>-11</sup>	1,7·10 <sup>-13</sup>	3,4·10 <sup>-8</sup>	3,4·10 <sup>-8</sup>	7,1·10 <sup>-4</sup>	4,4·10 <sup>-12</sup>	0:35
10,0	1,5·10 <sup>-11</sup>	1,9·10 <sup>-13</sup>	2,4·10 <sup>-8</sup>	2,4·10 <sup>-8</sup>	5,0·10 <sup>-4</sup>	3,1·10 <sup>-12</sup>	0:46
15,0	1,2·10 <sup>-11</sup>	1,6·10 <sup>-13</sup>	1,3·10 <sup>-8</sup>	1,3·10 <sup>-8</sup>	2,8·10 <sup>-4</sup>	1,7·10 <sup>-12</sup>	1:10
20,0	9,1·10 <sup>-12</sup>	1,2·10 <sup>-13</sup>	8,3·10 <sup>-9</sup>	8,3·10 <sup>-9</sup>	1,7·10 <sup>-4</sup>	1,1·10 <sup>-12</sup>	1:33
25,0	6,6·10 <sup>-12</sup>	8,6·10 <sup>-14</sup>	5,4·10 <sup>-9</sup>	5,4·10 <sup>-9</sup>	1,1·10 <sup>-4</sup>	7,0·10 <sup>-13</sup>	1:57
30,0	4,7·10 <sup>-12</sup>	6,1·10 <sup>-14</sup>	3,6·10 <sup>-9</sup>	3,6·10 <sup>-9</sup>	7,5·10 <sup>-5</sup>	4,7·10 <sup>-13</sup>	2:20
35,0	3,3·10 <sup>-12</sup>	4,3·10 <sup>-14</sup>	2,4·10 <sup>-9</sup>	2,4·10 <sup>-9</sup>	5,1·10 <sup>-5</sup>	3,2·10 <sup>-13</sup>	2:44
40,0	2,4·10 <sup>-12</sup>	3,1·10 <sup>-14</sup>	1,7·10 <sup>-9</sup>	1,7·10 <sup>-9</sup>	3,5·10 <sup>-5</sup>	2,2·10 <sup>-13</sup>	3:07

## Выводы

При проектном режиме эксплуатации и выполнении всех регламентных требований влияние КП РАО ЗАЭС на окружающую среду будет незначительным и не превысит существующих фоновых уровней.

Анализ последствий потенциальных проектных и за-проектных аварий показывает, что эффективные дозы за счет всех путей формирования дозы от аварийных выбросов не превысят наиболее низкой границы оправданности для проведения контрмер — 1 мЗв (ограничение пребывания детей на открытом воздухе). Более того, как в случае проектных аварий, так и при за-проектных авариях на установках КП РАО значения годовой эффективной дозы за счет аварийных выбросов для населения, которое постоянно находится на протяжении года на прилегающей к санитарно-защитной зоне ЗАЭС территории, не превысят установленной НРБУ-97 квоты лимита дозы 40 мкЗв/год.

Риски для населения и в штатном режиме эксплуатации КП РАО, и при максимальной проектной и за-проектной авариях находятся ниже границы  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> (пренебрежительный риск).

Таким образом, при соблюдении основных правил безопасности и соответствующей организации эксплуатации КП РАО на ЗАЭС возникновение чрезвычайных экологических ситуаций исключается.

Эксплуатация КП РАО позволит улучшить экологическую ситуацию в регионе за счет обеспечения условий безопасного временного хранения РАО на ЗАЭС с последующей их передачей на длительное хранение, тем самым повысив уровень радиационной безопасности на АЭС и окружающей территории.

## Список использованной литературы

1. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ): ДСП 6.177-2005-09-02: затв. наказом МОЗ України № 54 від 02.02.05 р. — К., 2005. — 74 с.
2. Порядок встановлення допустимих рівнів скидів і викидів АЕС України (Радіаційно-гігієнічні регламенти групи). Методичні вказівки. — К., 2002. — 61 с.
3. Гусев Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере : Справочник / Н. Г. Гусев, В. А. Беляев. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 224 с.
4. Homann S. G. HotSpot — Health Physics Codes. Version 2.07. User's Guide. — 2009. — 167 p. — (LLNL-TM-411345).
5. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) : ДГН 6.6.1.-6.5.001.98. — К. : Відділ поліграфії Укр. центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. — 121 с.
6. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення. Радіаційний захист від джерел потенційного випромінювання (НРБУ-97/Д-2000) : ДГН 6.6.1.-6.5.061-2000: затв. постановою Головного держ. лікаря України № 116 від 12.07.2000. — К., 2000. — 49 с.

## References

1. Basic Health and Safety Rules of Radiation Safety in Ukraine (OSPU): DSP 6.177-2005-09-02: Approved by Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 54 dated 02 February 2005 [Osnovni sanitarni pravyla zabezpechennia radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (OSPU): DSP 6.177-2005-09002: zatverdzeni nakazom MOZ Ukrainy No. 54 vid 02.02.05], Kyiv, 2005, 74 p. (Ukr)
2. Procedure for Establishing Permissible Releases and Discharges of Ukrainian NPPs (Radiation and Safety Regulations and Groups) [Priadok vstanovlennia dopustymykh rivniv skydiv i vykydiv AES Ukrainy (Radiatsiino-hihiienichni rehlementy i hrupy)], Metodichni vkazivky, Kyiv, 2002, 61 p. (Ukr)
3. Gusev, N.G., Belyaev, V.A. (1986), "Radioactive Releases in the Biosphere: Reference-Book. [Radioaktivnyie vybrosy v biosfere: Spravochnik], Energoatomizdat, Moscow, 224 p. (Rus)
4. Homann, S.G. (2009), HotSpot — Health Physics Codes, Version 2.07, User's Guide, LLNL-TM-411345, 167 p.
5. Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97): DGN 6.6.1.-6.5.001.98. [Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97). DGN 6.6.1.-6.5.001.98], Kyiv, 121 p. (Ukr)
6. Radiation Safety Standards of Ukraine. Addendum: Radiation Protection against Potential Radiation Sources (NRBU-97/D-2000): DGN 6.6.1.-6.5.061-2000: Approved by Resolution of Chief State Physician of Ukraine No. 116 dated 12 July 2000 [Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy. Dopovnennia. Radiatsiinyi zahust vid dzherel potentsiino-ho vyprominiuvannia (NRBU-97/D-2000): DGN 6.6.1.-6.5.061-2000: zatverdzeno postanovoiu holovnoho derzhavnoho sanitarnoho likaria Ukrainy No. 116 vid 12.07.2000], Kyiv, 49 p. (Ukr)

Получено 27.03.2015.